

Indigolla värjätyn nailonin 3D-tulostus

Emil Lyytikä

Materiaalitutkimus –kurssin tutkimusraportti

Muotoilun pääaine

Muotoilun laitos

Taiteiden ja suunnittelun korkeakoulu

Aalto-yliopisto

26.3.2017

Tiivistelmä

Halusin tutkia 3D-tulostuslangan värjäämistä luonnonväreillä. Valitsin väriaineeksi Indigon. Koen muovin tulostamisen ja perinteisen värjäystavan välisen ristiriidan kiinnostavaksi.

Valitsin tulostusmateriaaliksi nailonin, koska sen ominaisuudet soveltuvat hyvin värjäykseen. Tutkimuksessa selvisi, että indigo tarttuu perinteisin värjäysmenetelmin hyvin nailoniin. Väri kestää myös korkean tulostuslämpötilan.

Käytin indigovärjäyksessä pelkistävää värikylpymenetelmää, jolla värjätään yleensä luonnonkuituja. Tutkin värin tarttumista eri lämpötiloissa ja eri määrillä kylvetyskertoja. Sain laajan skaalan eri sävyjä vaaleansinisestä jopa indigon ominaissävyyteen, joka on syvän tummansininen.

Tulostaminen onnistui yli odotusten, väri selvisi lämmityksestä ja muuttui voimakkaammaksi monen tulostuskerroksen takia.

Sisällysluettelo

Tiivistelmä	s.2
Sisällysluettelo	s.3
Johdanto	s.4
Menetelmä	s.5
Sanastoa	s.5
Aino Favénin resepti indigovärjäykseen	s.6
Vahva peruskyypyi	s.6
Värikylpy	s.7
Värjäys	s.8
Tulostaminen	s.9
Tiedon hankinnan keinot & vaiheet	s.11
Tulokset	s.12
Värjäystulokset	s.12
Tulostustulokset	s.12
Johtopäätökset	s.12
Lähteet	s.13

Johdanto

Tutkin nailon 3d-tulostusmateriaalin värjäystä luonnon indigolla. Nailon on polyamideihin lukeutuva muovi jota käytetään mm. tekstiiliteollisuudessa, ruiskuvallatussa tuotteissa ja köysissä. Minua kiinnostaa juuri tässä tutkimuksessa vanhan ja uuden yhdistäminen. Nailonin värjäys on kuitenkin indigolla hankalaa. Johtuen siitä, että nailonissa ei ole "taskuja" joihin indigo voisi kerääntyä, toisin kun luonnonkuidussa. (Burch, P. FAQ: How to dye nylon or polyamide) On kiinnostavaa nähdä miten väri jää kiinni tulostus-materiaaliin. On myös epäselvää jos indigoväri selviää tulostusvaiheesta, koska tulostuslämpötila on korkea suhteessa värjäyslämpötilaan. Perinteikkään värjäysmenetelmän ja nykypäivän materiaaleihin kuuluva nailonin yhdistäminen kiinnostaa minua. Vanhimmat löydöt indigon käytöstä ovat 6000 vuotta vanhoja. Juuri nämä kyseiset löydöt ovat Peruusta (Splitstoser, J. ym. 2016. Early pre-Hispanic use of indigo blue in Peru), mutta indigoa on käytetty värjäysaineena ympäri maailmaa monia satoja, jopa tuhansia vuosia. Nailon taas on yksi nykypäivän yleisimmistä muoveista, jota valmistetaan tehtaissa, laboratorio-olosuhteissa. Pystynkö tuomaan lisäarvoa tylsänä pidetylle materiaalille.

Menetelmä

Olen osallistunut Indigonvärjäyskurssille, jonka vetäjänä toimi Aino Favén. Hän on suomalainen tekstiilitaiteilija, joka on myös tehnyt teoksia värjäämistään muovipusseista. Kurssilta saatu resepti värjäsi hyvin luonnonkuituisia kankaita, joten päätin käyttää samaa reseptiä koesarjaa värjätessä. Kiinnostava seikka indigovärjäyksessä on että materiaali värjäntyy vasta kosketuksessa hapen kanssa, värjätty kappale on siis kellertävän vihreää ylösnostovaiheessa. Sininen väri rupeaa heti tulemaan esille kun indigo hapettuu, tällaista menetelmää kutsutaan kyyppivärjäykseksi.

Valitsin filamentiksi Taulmanin 618 nailonin. Muovin valitsin sen värjäysominaisuuden vuoksi, ja väriksi valkoisen. Valitsin valkoisen läpikuultavan sijaan, koska värin kuluessa valkoinen tulisi toivon mukaan mahdollisesti esiin. korostaen kulumaa. 618 on teknisesti katsoen korkealaatuinen variaatio nailon 6,6sta (Taulman 3D 1.75mm Spool of Nylon 618). Nailon 6,6 käytetään mm. vaateteollisuudessa ja ruiskuvaluuapplikaatioissa. (Wikipedia. Applications.)

Sanastoa:

Tulostusmateriaali =	Filamentti
Thermo- muovi =	Muovi jota voi muovata lämmön avulla, kierrätyskelppoinen
3D- tulostus =	Viimevuosina yleistynyt tapa luoda asiota tietokoneohjatun laitteen avulla, esim. tulostamalla thermo- muovien kerros kerrallaan.
Nailon=	Polyamidi thermo- muovi, yleinen materiaali vaateteollisuudessa
Indigo=	Väriaine jota on käytetty 6000 vuotta, voidaan valmistaa kasveista tai synteettisesti, farkkujen sininen ominaisvävy, kyyppi väri
Kyyppi värjäys =	Väri muodostuu reagoimalla hapen kanssa
Kyyppi =	Vahva väriseos
Värjäysliemi =	Seos johon lisätään kyyppi
Värikylläisy =	Kyyppi + Värjäysliemi

Aino Favénin resepti indigovärjäykseen (Aino Favén. 2017)



Kuva 1. Kyypiin meneviä raaka-aineita (kuva: Emil Lyytikä)

Vahva peruskyyppi

Vesi 50°C	500ml
Indigo	30g
NaOH 25%	50ml
Natriumditioniitti	30g

Koko prosessi alkaa tekemällä kyypin. Se on vahva väriliuos, jossa ainekset sekoitetaan 50°C asteiseen veteen, seos menee pilalle jos lämpötila kohoaa yli 55-60°C. Sekoitusastiana toimii hyvin lasinen purkki jossa on kansi, muovinen purkki käy myös, mutta tarkista ensin että se kestää emäksisiä aineita. Astiassa pitäisi olla mahdollisimman vähän ilmatilaa. Ensin sekoitetaan veteen indigo. Lipeästä tehdään 25% liuos joka lisätään seokseen. Kun aiemmat ainekset on sekoitettu, niin voi lisätä natriumditioniitin (erittäin myrkyllistä, hengityssuoja pakollinen). Nyt voi varovasti käydä pohjan läpi siltä varalta jos sinne olisi jäänyt pigmenttiä. Lopuksi pidetään kyypsiä n. yhden tunnin ajan 50°C asteisessa vesihauteessa kansi hyvin suljettuna.

Indigo on seoksen väriaine, natrium lipeä ts. viemärinpuhdistusaine tekee kyypistä emäksistä ja natriumditioniitti pelkistää liuoksen eli se poistaa nesteestä hapen.

Valmistetaan värjäysliemi:

Vesi 20-24°C	10 litraa
Liivate	1-2g
Natriumlipeä 25%	2ml
Natriumditioniitti	2-3g
Suola	200g

Liivate suojaa kuituja, luonnonliima toimii myös siihen tarkoitukseen. Kuitujen suojaaminen on tärkeää, kun värjätään herkempiä materiaaleja, esimerkiksi villaa. Yhden tutkimuksen mukaan liivate toimii puskurina pitäen pH arvon tasaisesti kymmenessä, täten vähentäen toistuvien värjäysten vaihtelevuutta. (Rosunee, S. ym. 2016.)



Kuva 2. Huoneenlämpöinen värikylpy (kuva: Emil Lyytikkä)

Värikylpy

Värjäysliemeen lisätään peruskyyppiä halutun vahvuuden mukaan. Peruskyyppi sekoitetaan varovasti (kaadetaan matalalta, kyypipurkki upotetaan vesirajaan saakka) värjäysliemeen, ettei liemi hapetu. Värikylpyä saa sekoittaa, mutta varovasti välttämällä vispaavaa liikettä.

Värjäys

Värjättävän materiaalin voi upottaa veteen ennen värikylpyä, materiaaliin imeytynyt vesi tasoittaa värjäystulosta. Hydrofiilisenä materiaalina nailon käyttäytyy samoin. Kokeessani en kastellut filamenttia etukäteen.

Ensimmäinen värikylpy n. 5-10 minuuttia.

Ensimmäisen kylvyn jälkeen materiaali nostetaan varovasti liemestä hapettumaan ja levitetään hyvin tuuletettuun ilmaan 10-30 minuutiksi. Tällöin ilman hapen ansiosta väri muuttuu vihreästä indigonsiniseksi.



Kuva 3. Vasen. Värjäämättömiä filamentin koepätkiä. (kuva: Emil Lyytikä)

Kuva 4. Värikylvyn pinta hapettuu, estäen näön pohjalle. Haarukka on siksi hyvä työkalu filamentin onkimiseen. (kuva: Emil Lyytikä)

Seuraavat värikylvyt vain 1 minuutti, niiden välissä annetaan materiaalin hapettua vähintään 10 min. Materiaali kastetaan kylpyyn niin monta kertaa, että saadaan haluttu tummuus.

Käytin todella vahvaa kyyppiseosta, (10ml heikko, 250ml vahva) 10 litraan värjäyslientä, arvioin että liemessäni oli lähemmäs 600ml kyyppiä. Värjäsin 20 ja 50°C asteessa. Varioin ensimmäisen värjäyskylvyn pituutta 5 ja 10 minuutin välillä. Värikylpyjen välissä annoin filamentin hapettua 10 minuuttia. Lisäsin värikylpyjä (kesto 1min) 0-3 kertaan.

Taulukko 1. Filamentin värjäys sarja (tekijä: Emil Lyytikä)

Koepalat numerojärjestyksessä

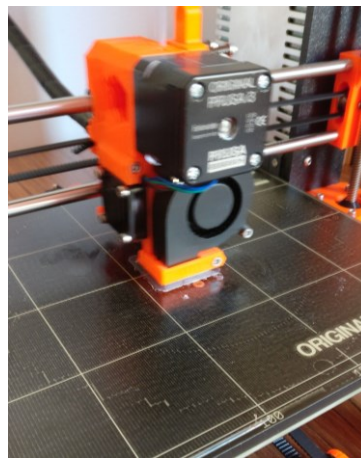
	1	2	3	4	5	6	7
Kylvyn lämpötila (°C)	22	22	50	50	50	50	50
Ensimmäinen kylpy (min)	5	10	5	10	10	10	10
Lisäkylpyjä	1	1	1	1	2	3	-

On hyvä tiedostaa, että on miltei mahdotonta tehdä täysin samanlaista värikyyppiä saatikka värikylpyä. Kyypin annosteleminen on vaikea tehdä tarkkaan, johtuen siitä että sitä on hankala kaataa (ilman kosketuksen takia), kankaita värjätessä seos määritellään aika pitkälti näppituntumalla. Indigoissa on myös isoja laadullisia eroja, huonolaatuisesta indigosta on mahdotonta saada tummia sävyjä. Sitä mukaa kun värikylpyä käytetään, siitä hupenee väriaine jota joudutaan lisäämään kun huomataan että kylpy värjää heikosti.

Minua kiinnosti myös muut luonnonvärit, mutta päätin käyttää ainoastaan indigoa, koska sillä pystyy saamaan paljon eri sävyjä, ja koin värjäyksen mahdollistamat variaatiot tarjoavan riittävästi vaihtelua.

Tulostaminen

Nailonfilamenttia pitää kuivattaa ennen 3D-tulostamista. sen voi tehdä säilyttämällä filamenttia ilmatiiviissä purkissa, jossa on silkkageeliä (kosteutta sitova aine). Minä kuivatin materiaalia uunissa parisen tuntia n. 65°C asteessa. Kosteus tulostusmateriaalissa aiheuttaa rätinää tulostaessa ja samentumista tulosteessa. Nailon imee itseensä 18 tunnissa ilmasta kosteuden, siksi sitä kannattaa myös säilyttää ilmatiiviisti pakattuna.



Kuva 5. Vasen. Filamenttia voi kuivata ihan tavallisessa uunissa. (kuva: Emil Lyytikä)

Kuva 6. 3D- tulostajan tulostuspää, tulostaessa se lämmittää muovia ja työntää sen pienen suuttimen läpi (minulla oli suutinkokona 0.4mm). (kuva: Emil Lyytikä)

Käytin 3d-tulostustekniikana FDM (Fused deposition modeling) ts. tietokone ohjaa suutinta joka tulostaa muovina kerros kerrokselta. Tämä menetelmä mahdollistaa termo-muovien tulostuksen. Tutkimuksen näytteet tulostuivat 240°C asteessa, mutta lämpötilan voi nostaa nailonia tulostaessa jopa 260 asteeseen. Kaikki tulostimet eivät kykene tällaisiin lämpötiloihin.

Pinta jolle koekappaleet ovat tulostettu on päällystetty PEI (Polyethylenimine) kalvolla jonka päälle olen levittänyt liimapuikolla vesiliukoista liimaa. Liima auttaa kappaleita pysymään paikoillaan tulostaessa. Käytin myös apunani ”kaulusta” eli yhden kerroksen paksusta pintaa (4mm leveä) joka kiertää tulostettavaa esinettä, lisäten pohjan pinta-alaa. Tulostuslevy on lämmitetty 90°C asteeseen. Tulostusnopeus on 80% ABSsän tulostusnopeudesta. (ABS on yksi yleisemmin käytetyistä öljypohjaisista termo-muoveista, sitä käytetään mm. autoissa) Suuttimen leveys on 0.4mm ja tulostettavan kerroksen paksuus 0.2mm. Koepalat ovat neliönmuotoisia, 30mm sivupituudeltaan ja paksuudeltaan 1,7mm. Hennoitten värjäytyneet koepalat ovat selvästi läpikuultavia, toisin kun muut jotka ovat peittäviä.

Tiedon hankinnan keinot & vaiheet

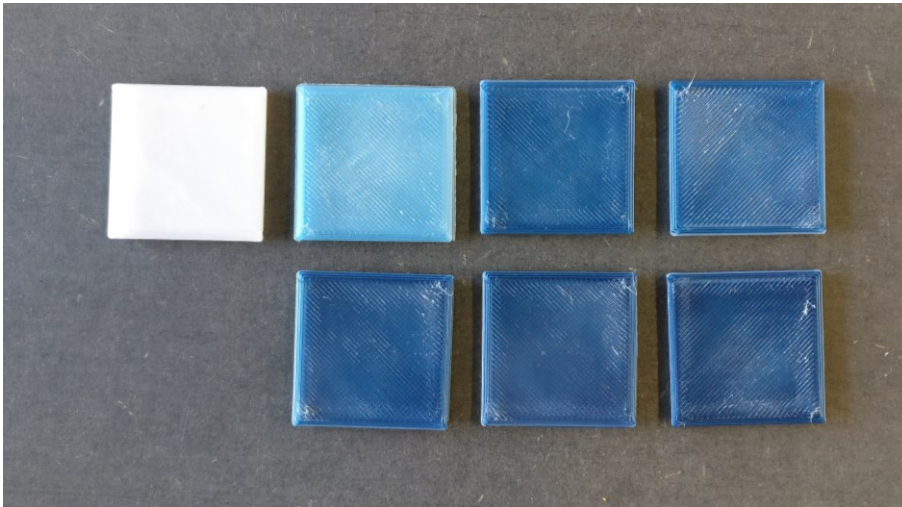
Olen saanut melkein kaiken tietoni indigon värjäyksestä Aino Favénin järjestämällä värjäyskurssilla. Verkosta löytyy myös lukuisia sivuja joista löytyy todella paljon tietoa luonnonväreistä ja niiden käytöstä. Niistä olisi ehdottomasti hyötyä jos jatkaisi tutkimusta. Yksi hyvä sivu on <http://www.coloria.net/varit/indigo.htm>, mistä löytyy laajasti tietoa eri luonnonväreistä. Filamentin valmistajan kotisivuilta löytyy paljon tietoa kyseisen materiaalin tulostamisesta. (618 Specifications, CNC Settings, Molding Data/Settings, Industrial Uses, FAQ)

Pienellä taustatutkimuksella selvisi että indigon kiehumislämpötila on yli 390°C astetta (Wikipedia, tietoruutu) ja päättelin että kyseisellä värillä olisi hyvät mahdollisuudet selvittää tulostuksesta joka tapahtuu 240°C asteessa.

Tulokset

Värjäys tulokset

Filamentin värjäys onnistui hyvin. Luin valittuani aiheeni että nailonin värjäys luonnonväreillä on hankalaa, erityisesti kun käyttää indigoa. Koepalojen värit onnistuivat siksi odotettua paremmin. Värjäyslämpötila vaikutti paljon värin voimakkuuteen. Filamentti jota värjäsin 20°C asteisessa väriliemessä muuttui hapettuessaan ainoastaan vaaleansiniseksi, toisin kun 50°C asteisessa liemessä värjätty joka muuttui tumman siniseksi.



Kuva 7. Koepalat: vasemmalla oleva valkoinen on nailonin alkuperäisväri. Siitä oikealle liikuttaessa tulee koepalat: 1, 3, 7, 4, 5, 6 (kuva: Emil Lyytikä)

Tulostustulokset

Värjäys ei vaikuttanut tulostuksen laatuun. Värjätyt kappaleet ovat laadultaan identtisiä värjäämättömään vertailukappaleeseen.

Johtopäätökset

Nailonin värjääminen indigolla on täysin mahdollista. Uskon että filamentin värjäys etukäteen tekee väristä kestävämmän, koska jos värjää jälkikäteen niin väri tarttuu ainoastaan uloimpiin kerroksiin. Sitä voisi myös olla kiinnostava kokeilla, silloin voisi ehkä saada hankaamalla esiin kulutusta ja feidejä.

Indigolla värjättyjä 3D-tulosteita voisi hyödyntää vaateteollisuudessa, esim. osina vaateissa. Voisi olla kiinnostavaa tutkia, jos värjätyn nailonin väri kuluu samalla tavalla kuin indigolla värjättyissä luonnonkuiduissa.

Lähteet:

Henkilökohtainen tiedonanto:

Aino Favén. 2017. Indigonvärjäys –kurssi.

Internet:

Burch, P. FAQ: How to dye nylon or polyamide. All about hand dyeing, käsinvärjäykseen erikositunut sivusto. 30.3.2017 <http://www.pburch.net/dyeing/FAQ/nylon.shtml>

Rosunee, S. ym. 2016. Investigation into the Use of Gelatin as a Buffer in the Dyeing of Wool with Indigo.
<http://web.a.ebscohost.com/abstract?direct=true&profile=ehost&scope=site&authtype=crawler&jrnl=16629795&AN=110752617&h=Lno%2f9q%2flbzRpbtBRP80UeZchWdq%2bNS66iH7eBCzo7S467nMGsC8PUAHPiCDk%2bibwNZrMmQi%2brUKqY3W7LTCUCg%3d%3d&crl=c&resultNs=AdminWebAuth&resultLocal=ErrCrlNotAuth&crlhashurl=login.aspx%3fdirect%3dtrue%26profile%3dehost%26scope%3dsite%26authtype%3dcrawler%26jrnl%3d16629795%26AN%3d110752617>

Splitstoser, J. ym. 2016. Early pre-Hispanic use of indigo blue in Peru . Science Advances –sivusto. 30.3.2017 <http://advances.sciencemag.org/content/2/9/e1501623.full>

618 Specifications, CNC Settings, Molding Data/Settings, Industrial Uses, FAQ
<http://taulman3d.com/618-features.html>

Wikipedia, Tietoruutu. https://en.wikipedia.org/wiki/Indigo_dye

Taulman 3D 1.75mm Spool of Nylon 618
<https://3d-tavaratalo.fi/TAULMAN-NYLON-618>

Wikipedia. Applications
https://en.wikipedia.org/wiki/Nylon_66